

УДК 621.923

В. И. ПОЛЯНСКИЙ**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Показана эффективность применения схем торцевого шлифования и фрезерования, при которых тепловой поток направлен в снимаемый слой материала, что существенно уменьшает тепловое воздействие на обрабатываемую поверхность. Расчетами установлено, что по уровню производительности обработки схемы шлифования периферией и торцом круга, а также схемы фрезерования торцевой фрезой, примерно одинаковые. Это позволяет эффективно использовать схемы торцевого шлифования и фрезерования для повышения качества обработки.

Ключевые слова: механическая обработка, шлифование, фрезерование, качество обработки, производительность обработки, температура резания.

В. І. ПОЛЯНСЬКИЙ**ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ РІЗНИХ СХЕМ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ**

Показано ефективність застосування схем торцевого шліфування та фрезерування, за яких тепловий потік направлений в шар матеріалу, що знімається, та істотно зменшує тепловий вплив на оброблювану поверхню. Розрахунками встановлено, що за рівнем продуктивності обробки схеми шліфування периферією й торцем круга, а також схеми фрезерування торцевою фрезою, приблизно однакові. Це дозволяє ефективно використовувати схеми торцевого шліфування й фрезерування для підвищення якості обробки.

Ключові слова: механічна обробка, шліфування, фрезерування, якість обробки, продуктивність обробки, температура різання.

V. I. POLYANSKIY**EVALUATION OF TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF VARIOUS MACHINING SCHEMES**

The paper shows that an important condition for improving the quality of machining of machine parts is the use of face grinding and milling schemes, in which the heat flow is directed into the removed layer of material and thereby significantly reduces the thermal effect on the surface being treated, especially with increased depths of cutting. Calculations established that the level of grinding performance by the periphery and the end of the circle, as well as the milling scheme by the face milling cutter, is approximately the same in terms of the processing performance level, taking into account the tool wear limitation. This makes it possible to effectively use grinding schemes for the end of the circle and milling with the face milling cutter both in preliminary and final operations in order to improve the quality of the surfaces to be treated and to avoid the formation of temperature and other defects on them. It has also been established that the processes of turning and planing are, according to the physical nature, subject to the regularities of face machining. This helps to reduce the thermal impact on the surface being treated, since the heat flow is directed mainly to the layer of the material being removed. The efficiency of the high-speed milling scheme for high-speed CNC machine-tools with machining center type is shown when machining the grooves of holes, planes and other complex surfaces of high-precision forming equipment for pasta and confectionery industries.

Keywords: machining, grinding, milling, processing quality, processing capacity, cutting temperature

Введение. Современный уровень производства и высокие требования к качеству и точности изготовления деталей машин и систем предопределяют применение новых более эффективных технологий механической обработки, высокооборотных станков с ЧПУ типа «обрабатывающий центр» и прогрессивных сборных режущих лезвийных твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями. Для их рационального использования необходимо располагать знаниями о технологических возможностях различных кинематических схем механической обработки по тепловому и силовому критериям. Поэтому настоящая работа посвящена решению актуальной научно-практической задачи определения условий уменьшения тепловой и силовой напряженности процессов механической обработки и на этой основе повышения качества и производительности обработки. Исследования выполнены в соответствии с тематическим планом научно-практических работ ООО «Империя металлов» (г. Харьков).

Анализ последних исследований и публикаций. Проблеме повышения качества и производительности механической обработки в научно-технической литературе уделено достаточно большое внимание [1-3]. В работе [4] показано, что максимальная температура резания определяется зависимостью $\theta = \sigma / (c \cdot \rho)$, где σ – условное напряжение резания, Н/м²; c – удельная

теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·град); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³. Поэтому уменьшить максимальную температуру резания θ можно лишь за счет уменьшения условного напряжения резания σ , которое, например, при шлифовании принимает весьма большие значения, превышающие предел прочности на сжатие обрабатываемого материала $\sigma_{сж}$, а максимальная температура резания θ – значения, превышающие температуру плавления обрабатываемого материала. При лезвийной обработке условное напряжение резания σ принимает меньшие значения, а максимальная температура резания θ – может быть меньше температуры плавления обрабатываемого материала. Основным условием уменьшения условного напряжения резания σ следует рассматривать снижение интенсивности трения в зоне резания, что достигается в первую очередь применением инструментов, обладающих высокой режущей способностью, например, инструментов из синтетических сверхтвердых материалов (СТМ), характеризующихся низким коэффициентом трения с обрабатываемым материалом, высокой износостойкостью и теплопроводностью. При шлифовании можно уменьшить интенсивность трения связки круга с обрабатываемым материалом, что достигается применением высокопористых и

импрегнированных шлифовальных кругов, эффективных методов правки круга, обеспечивающих в процессе шлифования его высокой режущей способности. Однако, как показывает практика, при этом не исключено образование на обработанных поверхностях детали прижогов и других дефектов. Поэтому проблема снижения тепловой и силовой напряженностей механической обработки, по-прежнему, остается важной и актуальной, требующей проведения дальнейших исследований.

Цель работы – теоретическое обоснование условий повышения качества и производительности механической обработки на основе снижения тепловой и силовой напряженностей процесса резания.

Изложение основного материала. Практика показывает, что важным условием уменьшения теплового воздействия на обрабатываемую поверхность и повышения качества обработки (исключение прижогов, микротрещин, микросколов и других температурных дефектов) следует рассматривать применение вместо традиционных схем механической обработки осевыми режущими многолезвийными инструментами прогрессивных схем абразивной и лезвийной обработки торцевой поверхностью режущего инструмента. В этом случае основная часть образующегося при резании тепла уходит в снимаемый слой припуска, а не в поверхностный слой обрабатываемой детали, что снижает интенсивность его нагрева и вероятность появления температурных дефектов. К таким схемам следует отнести схему шлифования торцом круга (схему торцевого шлифования, рис. 1, а), которая получила практическое применение вместо традиционной схемы шлифования периферией круга. В этом случае уменьшается температура резания, поскольку тепловой поток направлен в снимаемый слой припуска. Образующийся в процессе шлифования заборный конус на торце круга несколько изменяет направление действия теплового потока, однако основная часть тепла все же уходит в снимаемый слой припуска, что предохраняет поверхностный слой обрабатываемой детали от интенсивного теплового воздействия. Этим обусловлено широкое применение схемы торцевого шлифования изделий, изготовленных из таких труднообрабатываемых материалов, как твердые сплавы, износостойкие наплавочные материалы и покрытия, керамические материалы, алмазы и другие синтетические сверхтвердые материалы.

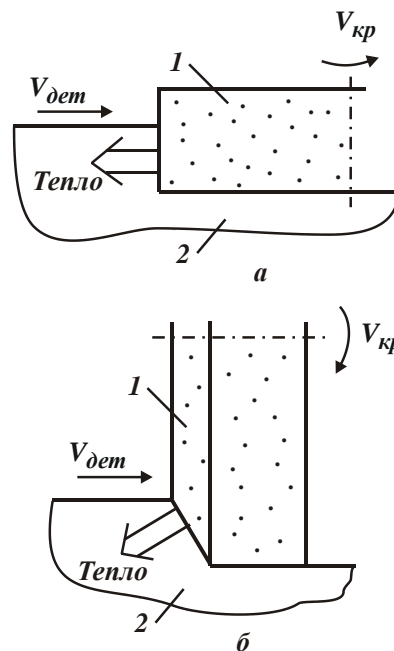


Рис. 1. Расчетные схемы шлифования: а – торцом круга и б – периферией круга: 1 – шлифовальный круг; 2 – обрабатываемая деталь

Эффективным методом повышения качества обработки за счет уменьшения теплового воздействия на обрабатываемую поверхность стало применение схемы глубинного шлифования кругом с заборным конусом (рис. 1, б). Очевидно, в этом случае, с увеличением глубины шлифования больше образующегося при резании тепла уходит в снимаемый слой припуска и меньше в поверхностный слой обрабатываемой детали, в результате повышается качество обрабатываемой поверхности.

Расчетная зависимость для определения температуры резания θ при плоском шлифовании периферией круга (рис. 2) имеет вид [4]:

$$\theta = \frac{q \cdot l_2}{\lambda} = \frac{\sigma \cdot V_{рез}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \frac{t}{V_{рез}} =$$

$$= \frac{\sigma}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot t}{c \cdot \rho}} \cdot \frac{t}{V_{рез}} = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_{дет}}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot l}} = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t \cdot Q_{уд}}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot l}}, \quad (1)$$

где, $q = \sigma \cdot V_{рез}$ – плотность теплового потока, Вт/м²;

$V_{рез} = t / \tau$ – скорость внедрения шлифовального круга вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали, м/с;

t – глубина резания, м;

$\tau = l / V_{дет}$ – время контакта шлифовального круга с обрабатываемым материалом, с;

$l = \sqrt{2 \cdot t \cdot R_{кр}}$ – длина контакта шлифовального круга с обрабатываемой деталью при плоском шлифовании периферией круга, м;

$R_{кр}$ – радиус шлифовального круга, м;

$V_{дет}$ – скорость детали, м/с;

$l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c \cdot \rho}}$ – глубина проникновения тепла в

поверхностный слой обрабатываемой детали, м;

λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·град);

$Q_{уд} = t \cdot V_{дет}$ – удельная производительность обработки, м²/с.

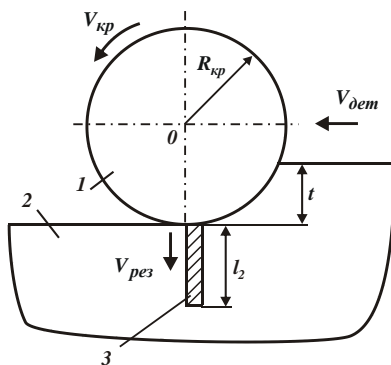


Рис. 2. Расчетная схема параметров процесса плоского шлифования: 1 – шлифовальный круг; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – адиабатический стержень

В расчетной схеме параметров процесса плоского шлифования (рис. 2) снимаемый припуск представлен в виде пакета элементарных прямолинейных адиабатических стержней длиной l_2 , определяющей глубину проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали. Наибольшая температура достигается в точке контакта шлифовального круга с адиабатическим стержнем, а наименьшая (условно равная нулю) – на глубине l_2 .

Исходя из приведенной зависимости (1), наибольшее влияние на температуру шлифования θ оказывает условное напряжение резания σ , что предопределяет необходимость его уменьшения. С уменьшением глубины шлифования t при заданной температуре θ можно увеличить удельную производительность обработки $Q_{уд} = t \cdot V_{дет}$, что указывает на эффективность применения многопроходного шлифования с увеличенной скоростью детали. Уменьшить температуру шлифования θ также можно увеличением длины контакта круга с обрабатываемой деталью, например, за счет применения схемы плоского торцового шлифования взамен шлифования периферией круга, поскольку в этом случае можно многократно увеличить длину контакта круга с обрабатываемой деталью. Увеличивая пропорционально глубину шлифования t и параметр l , можно заданную удельную производительность обработки $Q_{уд}$ реализовать и в условиях глубинного шлифования, создавая на круге заборный конус. В этом случае с

увеличением глубины шлифования t скорость детали $V_{дет}$ должна уменьшаться, что предопределяет эффективность применения схемы глубинного шлифования кругом с заборным конусом и с относительно небольшой скоростью детали $V_{дет}$. Следовательно, эта схема эффективнее схемы обычного торцового многопроходного шлифования, так как за счет увеличения глубины шлифования t тепловой поток изменит свое направление – он в большей степени будет направлен в сторону снимаемого припуска, обеспечивая, тем самым, более качественную обработку.

В работе [5] приведена аналитическая зависимость для определения максимальной (вероятностной) толщины среза при шлифовании:

$$H_{max} = \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot \rho}}{tg \gamma \cdot m \cdot V_{кр}}}, \quad (2)$$

где \bar{X} – зернистость круга, м;

m – объемная концентрация зерен в круге (например, для 100 %-ой концентрации алмазного круга – $m=100$);

2γ – угол при вершине режущего зерна;

$V_{кр}$ – скорость круга, м/с;

$\rho = 1/R_{кр} + 1/R_{дет}$;

$R_{кр}$, $R_{дет}$ – радиусы шлифовального круга и детали, м.,

Данная зависимость применима к процессу шлифования периферией круга без образования на нем заборного конуса. При наличии заборного конуса на круге зависимость (2) необходимо преобразовать, умножая глубину шлифования t на долевую продольную подачу $S_o = B_1/B$, где B_1 – ширина шлифования, м; B – ширина круга, м. Тогда зависимость (2) примет вид:

$$\begin{aligned} H_{max} &= \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi}{tg \gamma \cdot m \cdot V_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{V_{дет}^2 \cdot B_1 \cdot t \cdot \rho}{B}}} = \\ &= \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi}{tg \gamma \cdot m \cdot V_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{V_{дет} \cdot Q \cdot \rho}{B}}}, \quad (3) \end{aligned}$$

где $Q = B_1 \cdot t \cdot V_{дет}$ – производительность обработки, м³/с.

Как видно, уменьшить параметр H_{max} и, соответственно, износ, шлифовального круга, при заданной производительности обработки $Q = B_1 \cdot t \cdot V_{дет}$ можно уменьшением скорости детали $V_{дет}$ и увеличением глубины шлифования t , т.е. применением схемы глубинного шлифования.

Используя зависимость (2), можно определить максимально, возможные значения скорости детали $V_{дет}$ и производительности обработки $Q = B_1 \cdot t \cdot V_{дет}$ для заданной максимальной (вероятностной) толщины среза при шлифовании:

$$V_{\text{дет}} = \frac{tg\gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}}}{630 \cdot \pi \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot \rho}} \cdot \left(\frac{H_{\text{max}}}{\bar{X}} \right)^3; \quad (4)$$

$$Q = \frac{tg\gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}} \cdot B_1}{630 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot \rho}} \cdot \left(\frac{H_{\text{max}}}{\bar{X}} \right)^3. \quad (5)$$

С увеличением глубины шлифования t скорость детали $V_{\text{дет}}$ уменьшается, а производительность обработки $Q = B_1 \cdot t \cdot V_{\text{дет}}$, наоборот, увеличивается, что указывает на эффективность применения схемы глубинного шлифования. Эффект обработки в этом случае обусловлен увеличением длины контакта круга с обрабатываемой деталью. Наибольший эффект, очевидно, достигается при условии $t = 2R_{\text{кр}}$, реализовать которое можно применением схемы торцового шлифования с шириной шлифования, равной диаметру круга. Параметр B_1 в этом случае равен фактической глубине шлифования t , а $\rho = 1/R_{\text{кр}}$, так как процесс реализуется лишь при плоском шлифовании ($R_{\text{дет}} \rightarrow \infty$). Тогда зависимость (5) для определения производительности обработки Q при шлифовании торцом круга примет вид:

$$Q = \frac{tg\gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}} \cdot t}{630 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot R_{\text{кр}}}{2 \cdot \rho}} \cdot \left(\frac{H_{\text{max}}}{\bar{X}} \right)^3 \quad (6)$$

Зависимости (5) и (6) отличаются произведениями параметров $B_1 \cdot \sqrt{t}$ и, соответственно, $t \cdot \sqrt{2 \cdot R_{\text{кр}}}$. Так, при $B_1 = 25$ мм; $t = 0,1$ мм; $R_{\text{кр}} = 150$ мм, имеем: $B_1 \cdot \sqrt{t} = 7,9$ мм^{1,5} и $t \cdot \sqrt{2 \cdot R_{\text{кр}}} = 1,7$ мм^{1,5}, а при $B_1 = 25$ мм; $t = 1$ мм; $R_{\text{кр}} = 150$ мм, соответственно, $B_1 \cdot \sqrt{t} = 25$ мм^{1,5} и $t \cdot \sqrt{2 \cdot R_{\text{кр}}} = 17,3$ мм^{1,5}.

Следовательно, производительность обработки при шлифовании периферией круга больше, чем при шлифовании торцом круга, однако с увеличением глубины шлифования t их значения становятся приблизительно одинаковыми.

Необходимо отметить, что данная закономерность справедлива при глубинном шлифовании, когда долевая продольная подача $S_o \approx 1$. При многопроходном шлифовании, как известно, $S_o < 1$ и параметр B_1 значительно меньше, что указывает на преимущество схемы торцового шлифования с точки зрения повышения производительности обработки. Этим объясняется эффективность применения схемы торцового шлифования на финишных операциях, обеспечивающей одновременно повышение производительности обработки и снижение тепловой напряженности процесса шлифования (как показано выше), например, при плоском шлифовании пакета твердосплавных пластин торцом алмазного круга с его непрерывной электроэрозионной или электрохимической правкой.

При строгании более распространена схема обработки инструментом с наклонным режущим лезвием, что способствует переносу образующегося при резании тепла в снимаемый слой припуска, а не в поверхностный слой обрабатываемой детали. Это обеспечивает снижение теплового воздействия на поверхностный слой обрабатываемой детали и повышение качества обработки. По сути, эта схема положена в основу метода точения деталей цилиндрической формы и положительно отличается, например, от схемы свободного резания, где основная часть тепла уходит в поверхностный слой обрабатываемой детали и снижает качество обработки. Исходя из этого, в процессе точения добиваются снижения температуры резания главным образом с целью повышения стойкости режущего инструмента, а не с целью повышения качества обработки, которое, как известно, выше, чем при шлифовании.

Значительными технологическими возможностями располагает также схема торцового фрезерования по сравнению со схемой фрезерования цилиндрической фрезой. В этом случае с увеличением толщины снимаемого припуска, т.е. с увеличением глубины резания, основная часть образующегося тепла переходит в снимаемый слой припуска. При этом площадь контакта режущего инструмента с обрабатываемой поверхностью значительно меньше, чем при фрезеровании цилиндрической фрезой, что снижает тепловое и механическое воздействие на обрабатываемую поверхность и повышает качество обработки. Ограничение тепловой и силовой нагруженности процесса фрезерования в этом случае рассматривается, прежде всего, с точки зрения повышения стойкости инструмента, а не с точки зрения повышения качества обработки в связи с температурным воздействием. В результате появляется возможность эффективного использования высокоскоростного фрезерования, обеспечивающего одновременное повышение производительности и качества обработки.

Таким образом показано, что достаточно высокие значения условного напряжения резания и соответственно температуры резания, достигаемые при механической обработке и в особенности при шлифовании [4], можно компенсировать уменьшением площади контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом путем применения обработки торцовой поверхностью инструмента, изменяя одновременно и направление теплового потока – направляя его в снимаемый слой припуска и снижая тем самым интенсивность теплового воздействия на обрабатываемую поверхность и повышая качество обработки.

Аналогично предложенному в работе теоретическому подходу к определению производительности обработки при шлифовании периферией и торцом круга, можно сравнить производительность обработки при фрезеровании цилиндрической и торцовой фрезами. При фрезеровании торцовой фрезой максимальная толщина среза a_{max} определяется зависимостью [4]:

$$a_{\max} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot D}{z} \cdot \frac{V_{\text{дет}}}{V_{\text{фр}}} \cdot \sqrt{\frac{t}{D}}, \quad (7)$$

где D – диаметр фрезы, м;

z – количество зубьев фрезы;

$V_{\text{дет}}, V_{\text{фр}}$ – скорости детали и фрезы, м/с;

t – глубина резания, м.

Соответственно, максимально возможные значения скорости детали $V_{\text{дет}}$ и производительности обработки $Q = B \cdot t \cdot V_{\text{дет}}$, обусловленные достижением (предельного – из условия прочности режущей части фрезы) значения максимальной толщины среза a_{\max} , исходя из зависимости (7), равны:

$$V_{\text{дет}} = \frac{a_{\max} \cdot z \cdot V_{\text{фр}}}{2 \cdot \pi \cdot D} \cdot \sqrt{\frac{D}{t}}; \quad (8)$$

$$Q = \frac{a_{\max} \cdot z \cdot V_{\text{фр}} \cdot B}{2 \cdot \pi \cdot D} \cdot \sqrt{t \cdot D}, \quad (9)$$

где B – ширина фрезы, м.

Согласно приведенным зависимостям (8) и (9), также как и при шлифовании, скорость детали $V_{\text{дет}}$ уменьшается, а производительность обработки $Q = B \cdot t \cdot V_{\text{дет}}$ увеличивается с увеличением глубины резания t . Наибольшая производительность обработки достигается при условии $t = D$, т.е. при условии фрезерования торцом фрезы, рассматривая в зависимости (9) в качестве параметра B , фактическую глубину резания t :

$$Q = \frac{a_{\max} \cdot z \cdot V_{\text{фр}} \cdot t}{2 \cdot \pi}. \quad (10)$$

С учетом соотношения $V_{\text{фр}} = \pi \cdot D \cdot n$ зависимость (10) принимает вид: $Q = 0,5 \cdot a_{\max} \cdot z \cdot D \cdot n \cdot t$, где, n – количество оборотов фрезы в единицу времени, об./с. Очевидно, чем больше глубина резания t , тем большую производительность обработки можно достичь. Этим объясняется широкое применение в последние годы схемы высокоскоростного фрезерования торцевой фрезой с шириной фрезерования, равной диаметру фрезы, на высокооборотных металлорежущих станках с ЧПУ типа «обрабатывающий центр». Данная схема с высокой эффективностью используется в ООО «Империя металлов» (г. Харьков) при механической обработке пазов, отверстий, плоскостей и других сложнопрофильных поверхностей высокоточной

формулирующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности [5]. Для повышения работоспособности инструментов на их рабочие поверхности наносятся износостойкие покрытия на основе алмаза.

Выводы. В работе показано, что важным условием повышения качества обработки деталей машин является применение схем торцевого шлифования и фрезерования, при которых тепловой поток направлен в снимаемый слой материала и тем самым существенно уменьшает тепловое воздействие на обрабатываемую поверхность. Расчетами установлено, что по уровню производительности обработки схемы шлифования периферией и торцом круга, а также схемы фрезерования торцевой фрезой, примерно одинаковые. Наибольшая производительность достигается при ширине обработки, равной диаметру торца шлифовального круга или торцевой фрезы. Это позволяет эффективно использовать схемы шлифования торцом круга и фрезерования торцевой фрезой как на предварительных, так и на окончательных операциях с целью повышения качества обрабатываемых поверхностей, исключения образования на них температурных и других дефектов.

Список литературы

1. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. Захаренко И. П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И. П. Захаренко. – К.: Наук. думка, 1981. – 300 с.
3. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
4. Новіков Ф. В. Теоретичні основи механічної обробки високоточних деталей: монографія / Ф. В. Новіков, І. О. Рябенков. – Х.: Вид. ХНЕУ, 2013. – 352 с.
5. Новіков Ф. В. Високопродуктивне алмазне шліфування: монографія / Ф. В. Новіков. – Х.: Вид. ХНЕУ, 2014. – 412 с.
6. Полянський В. І. Производство формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности / В. И. Полянський //, Фізичні, та, комп'ютерні, технології., Матеріали, XXII, Міжнародної науково-практичної конференції., 7–9 грудня 2016, м. Харків. – Д.: ЛІРА, 2016. – С. 82–88.

References (transliterated)

1. Yakimov A.V. Optimization of the grinding process / A.V. Yakimov. – Moscow: Mechanical Engineering, 1975. – 175 p.
2. Zakharenko I. P. Osnovy almaznoy obrabotki tverdospлавного instrumenta / I. P. Zakharenko. – Kiev.: Naukova dumka, 1981. – 300 p.
3. Bobrov V. F. Osnovy teorii rezaniya metallov / V. F. Bobrov. – Moscow: Mashinostroeniye, 1975. – 343 p.
4. Novikov F. V. Teoretichni osnovy mekhanichnoyi obrobky vysokotochnykh detalev: monohrafiya / F. V. Novikov, I. O. Ryabentov. – KHarkiv: Vyd. KHNEU, 2013. – 352 p.
5. Novikov F. V. Vysokoproduktyvne almazne shlifuvannya: monohrafiya / F. V. Novikov. – KHarkiv: Vyd. KHNEU, 2014. – 412 p.
6. Polyanskiy V. I. Proizvodstvo formuyushchey osnastki dlya makaronnoy i konditerskoy otrasley promyshlennosti / V. I. Polyanskiy //, Fizichni ta komp'yuterni tekhnolohiyi. Materialy XXII Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi, 7–9 hrudnya 2016, m. Kharkiv. – D.: LIRA, 2016. – P. 82–88.

Поступила (received) 03.09.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Полянський Володимир Іванович (Полянський Володимир Іванович, Polyanskiy Vladimir Ivanovich) – кандидат технічних наук, Генеральний директор, ООО «Імперія металлов», г. Харків; тел.: +38-067-57-80-906; e-mail: tools@imperija.com.